

ESTUDIO SOBRE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN PROCESO DE
CALENTAMIENTO A NIVEL RESIDENCIAL CON DIFERENTES TIPOS DE
RECIPIENTES

PROYECTO

CRISTIAN HERNANDO CHAVARRO CARDONA

DOC: 1088009056

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE TECNOLOGÍA

ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA

PEREIRA, RISARALDA

2020

ESTUDIO SOBRE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN PROCESO DE
CALENTAMIENTO A NIVEL RESIDENCIAL CON DIFERENTES TIPOS DE
RECIPIENTES

CRISTIAN HERNANDO CHAVARRO CARDONA

DOC: 1088009056

PROYECTO

DIRECTOR:

YAMID ALBERTO CARRANZA SÁNCHEZ, D.Sc.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE TECNOLOGÍA

ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA

PEREIRA, RISARALDA

2020

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado bajo la supervisión del ingeniero Yamid Alberto Carranza Sánchez, gracias a que con su amplio conocimiento y su buen consejo se pudo realizar la experimentación. También quiero agradecerle por su gran paciencia y confianza que ha tenido hacia mí. De igual forma, expreso mi gratitud al profesor José Gerardo Cardona Toro, Ph.D., profesor de la Universidad Tecnológica de Pereira, quien dedicó parte de su tiempo y me asesoró en la realización del análisis estadístico correspondiente y en la interpretación de los resultados.

A mis padres por su guía, gran amor y paciencia, y por la oportunidad que me brindaron para tener una educación superior.

A Dios por la vida que me ha brindado.

Contenido

RESUMEN.....	7
INTRODUCCIÓN	8
1. MARCO TEORICO.....	10
1.1 ANTECEDENTES	10
1.2 CONCEPTO DE COCCIÓN.....	14
1.3 EFICIENCIA EN EL PROCESO DE COCCIÓN	16
2. MONTAJE Y PLAN EXPERIMENTAL.....	18
2.1. INSTRUMENTOS Y MATERIALES UTILIZADOS	20
2.1.7. RECIPIENTES.....	30
2.2 PLAN EXPERIMENTAL	32
2.2.1 PROCESO EXPERIMENTAL DE MEDICIÓN	34
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
3.1 ANÁLISIS DE DATOS EMPLEANDO EL ANOVA	44
4. CONCLUSIONES	50
5. ANEXOS	51
6. BIBLIOGRAFÍA	53

FIGURAS

Figura 1 Montaje experimental.....	19
Figura 2 Medidor de consumo eléctrico UNI-T	21
Figura 3 Pinza amperimétrica.....	22
Figura 4 Multímetro Radioshack	23
Figura 5 Termómetro FLUKE 54 II	24
Figura 6 Balanza JAVAR	25
Figura 7 Estufa eléctrica.....	25
Figura 8 Esquema de conexión de la estufa eléctrica.....	26
Figura 9 Esquema de conexión para la posición apagado.....	27
Figura 10 Esquema de conexión para la posición bajo.....	28
Figura 11 Esquema de conexión para la posición medio	28
Figura 12 Esquema de conexión para la posición alto.....	29
Figura 13 Calderero	30
Figura 14 Olla chocolatera.....	30
Figura 15 Calderero eficiente	31
Figura 16 Representación gráfica de todos los tratamientos posibles	33
Figura 17 Grafica de eficiencia vs tipo de recipiente	46
Figura 18 Grafica de eficiencia vs nivel de potencia de la estufa.....	47
Figura 19 Grafica de interacción BA, eficiencia vs tipo de recipiente	48
Figura 20 Grafica de interacción AB, eficiencia vs tipo de recipiente	49

TABLAS

Tabla 1 variables principales	17
Tabla 2 características generales medidor de consumo eléctrico	20
Tabla 3 Características generales pinza amperimétrica	21
Tabla 4 características generales multímetro RADIOSHACK.....	22
Tabla 5 características generales termómetro FLUKE 54 II.....	23
Tabla 6 Características generales de los recipientes	30
Tabla 7 Orden experimental para cada combinación	33
Tabla 8 Resultados de temperatura inicial y final del proceso de calentamiento.....	35
Tabla 9 Masa de agua inicial y final en el proceso de calentamiento	36
Tabla 10 Resultados del tiempo de duración del proceso de calentamiento.....	36
Tabla 11 Potencia utilizada en el proceso de calentamiento.....	37
Tabla 12 Energía consumida por la estufa durante el proceso.....	38
Tabla 13 Energía consumida por el agua durante el proceso.....	39
Tabla 14 Energía durante el proceso de calentamiento.....	39
Tabla 15 Energía perdida durante el calentamiento en términos de porcentaje	40
Tabla 16 Eficiencia en el proceso de cocción en términos de porcentaje	41
Tabla 17 Eficiencia del proceso organizada de forma descendente	41
Tabla 18 Datos obtenidos para cada combinación	44
Tabla 19 Análisis de varianza ANOVA para un diseño 3^2	44
Tabla 20 ANOVA para el diseño 3^2	46
Tabla 21 Datos obtenidos por el Multímetro (RADIOSHACK)	51
Tabla 22 Datos obtenidos por la pinza amperimétrica	51
Tabla 23 Energía empleada para cada combinación	52

RESUMEN

El conocimiento acerca de la eficiencia en la cocción, cobra una gran importancia a la hora de determinar cuál es el método más adecuado para realizar esta función. Este trabajo se basa en un estudio experimental para determinar la influencia de dos factores: tipo de recipiente de cocción y nivel de potencia de una estufa eléctrica monofásica utilizada a nivel residencial, en la eficiencia de un proceso de cocción. Se emplea un diseño factorial 3^2 donde cada uno de los dos factores posee tres niveles y al realizar la interacción entre ambos, se puede analizar el efecto de cada uno de ellos en el proceso. Los resultados permitieron determinar que el nivel de potencia de la estufa es el factor que más afecta el proceso, seguido de las características físicas de los recipientes, las cuales también influyen en el mismo.

INTRODUCCIÓN

La energía, es un bien fundamental para el desarrollo de todas las actividades tanto en el comercio y la industria, como para el bienestar de los hogares, ya que con ella se puede generar bienestar y proyectar la vida humana al progreso, al ser fuente que contribuye al funcionamiento de una gran variedad de aparatos y maquinarias que permiten las diferentes dinámicas de la sociedad actual.

En Colombia, el consumo energético para el año 2015 se distribuyó principalmente en los siguientes sectores: 16,72% residencial, 29,36% industria, 40,9% en transporte. Por su parte, el sector terciario presento un consumo cercano al 5% (1); enfocándonos en la energía eléctrica el país cuenta con una capacidad instalada cerca de 14,4 GW de las cuales un 69,9% es generación hidráulica, 24,8% térmicas a gas, 4,9% térmicas a carbón, 0,4% cogeneradores y 0,1% eólicos (2).

Según las proyecciones de la demanda de la UPME, se espera un crecimiento del consumo energético promedio 3,1% para los años 2012-2020 y del 2,9% para el 2020-2030 (2). Para suplir la necesidad energética además de las hidroeléctricas se hará uso indiscriminado de recursos no renovables que tendrá como consecuencia el aumento de la emisión de gases de efecto invernadero, además de elevar la deforestación y contaminación de las fuentes hídricas, agotando así los recursos naturales y contaminando el ambiente.

Todo esto conlleva a que sea necesario generar un uso eficiente de la energía eléctrica, puesto que muchas son las pérdidas que se han generado debido a un inadecuado uso de los diferentes dispositivos. También es importante fomentar una cultura del ahorro, que tendría un impacto positivo no solo en el medio ambiente sino también en la economía.

En el ámbito residencial, el empleo de energía se distribuye en diferentes áreas. Existe el uso tanto de energía eléctrica como de energía contenida en el gas combustible (gas natural y en pequeña medida gas propano) con una participación del 55% y 35% respectivamente (1). Uno de los procesos que mayor importancia abarca en todo el hogar, es la cocción, ya que es indispensable y tiene una gran demanda en el consumo de portadores energéticos y, por ende, genera un costo significativo entre los consumidores de energía. Debido a esto, es importante tener un conocimiento que ayude a darle un adecuado uso, eficiente y sensato a la energía en los diferentes dispositivos que se utilicen.

En el proceso de cocción, se deben tener presente diversos factores para alcanzar una óptima eficiencia, sin embargo, no está claro cuál es la influencia de dichos factores y niveles. Por ejemplo, la potencia calorífica de la estufa ya sea baja, media o alta. Tipo de estufa: eléctrica o a gas. El tipo de recipiente teniendo en cuenta

tanto la forma, tecnología y material con el que está diseñado la cantidad y el tipo de alimento a procesar, y el tiempo que se requiere para preparar cada uno de ellos. Todos estos factores pueden influenciar el desempeño en el proceso de cocción y no se tiene claro un procedimiento por el cual se puedan combinar estos factores con el fin de obtener el mejor desempeño posible, considerando, que cuando se habla de desempeño, se hace referencia al consumo de combustible o eficiencia energética en el proceso de cocción.

La presente investigación, tiene como objetivo desarrollar un estudio experimental para analizar la eficiencia energética en un proceso de cocción en el ámbito residencial, utilizando una estufa eléctrica monofásica con tres niveles de potencia y empleando tres recipientes diferentes, esto con el fin de identificar la influencia de los distintos factores y niveles en el proceso, al mismo tiempo conocer la combinación que tiene mejor comportamiento, buscando generar un conocimiento en el uso racional de la energía, puesto que, se percibe una total improvisación por parte de los que realizan esta función, lo que puede conllevar a un uso poco eficiente de los consumidores energéticos.

Se diseñó un plan experimental para simular un proceso de cocción, se registraron y procesaron los datos de las diversas variables eléctricas y de temperatura utilizando un método estadístico ya establecido, y con ayuda de algunas fórmulas tomadas de la literatura saber cuál es el consumo energético en cada combinación. Se pretende con este trabajo iniciar una serie de investigaciones que permitan evaluar el cómo debe realizarse un proceso de cocción a nivel residencial. Es evidente que en la actualidad realizar estudios que promuevan la culturización energética para reducir el consumo de portadores energéticos, cada vez cobra mayor importancia, debido a que existe la necesidad de mitigar los impactos ambientales que genera suplir la demanda energética actual.

1. MARCO TEORICO

1.1 ANTECEDENTES

Los estudios relacionados con la eficiencia en la cocción son muy pocos, y los que existen se aluden a países como Estados Unidos en lugares como la universidad de Iowa y en la universidad de Wisconsin, a nivel nacional ha sido bastante escasa. Es así como se pueden mencionarse los siguientes:

“Estudio sobre la influencia de la potencia calorífica del quemador y el tipo de recipiente en la eficiencia de cocción a nivel residencial” (CARRANZA Yamid Alberto y VILLA Andrés Felipe)

En la revista ciencia y técnica del año 2012, se realizó una publicación titulada *“Estudio sobre la influencia de la potencia calorífica del quemador y el tipo de recipiente en la eficiencia de cocción a nivel residencial”*, en donde se efectúa un estudio experimental para analizar la influencia de los factores en la potencia calorífica del quemador y el tipo de recipiente en la eficiencia de cocción: utilizando una estufa de uso residencial que emplea como combustible gas propano, donde se procede a calentar agua y se genera el proceso de cocción. Se empleó un experimento factorial 2^2 para el estudio de los dos factores, donde cada uno de ellos posee dos niveles, todo esto con el fin de determinar el nivel de interacción de los factores y su influencia en el proceso de cocción.

La potencia calorífica del quemador posee dos niveles que son: llama media y llama alta, igualmente, el tipo de recipiente tiene dos niveles: chocolatera y calderero. Así se efectuaron los experimentos con las diversas combinaciones y sus respectivas replicas en un orden aleatorio, tratando siempre de que todas las pruebas se realizaran en condiciones similares, todo esto con el fin de conocer la influencia de cada factor en el proceso de cocción, además de identificar el procedimiento más eficiente; al final se obtuvieron diversos resultados concluyendo con lo siguiente:

- El factor potencia del quemador o llama es notablemente más influyente que el tipo de recipiente utilizado en el proceso de cocción.
- Realizar el proceso de cocción con llama medio implica tener eficiencias alrededor del 60% independientemente del recipiente, mientras la cocción con llama alta genera eficiencias de 39% aproximadamente.
- El estudio sugiere que la mejor manera de realizar un proceso de cocción eficiente es empleando llama media y calderero como recipiente de cocción. La manera más ineficiente es la utilización de chocolatera con llama alta (3).

“Heat transfer characteristics and cooking efficiency of different sauce pans on various cooktops” (KARUNANITHY C. y SHAFER K.)

También otro estudio relacionado con el tema, se encuentra en la publicación *“Heat transfer characteristics and cooking efficiency of different sauce pans on various cooktops”*, realizada por la revista Applied Thermal Engineering del año 2015; en síntesis, el artículo menciona que: debido a que los costos energéticos van en aumento, han motivado a que los creadores de estufas y recipientes, fabriquen elementos energéticamente más eficientes, buscando cumplir con esta expectativa. Sin embargo, escasea la investigación que apoya totalmente las anteriores pretensiones, por ello es necesario comparar y realizar una interacción entre las estufas y los recipientes, para determinar la influencia de cada uno de ellos y así generar un conocimiento entre los consumidores, acerca de qué tipo de recipiente utilizar según el generador energético que posea y viceversa.

En consecuencia, la investigación logró identificar las características de transferencia de calor (tiempo de calentamiento y tiempo de enfriamiento) y eficiencia en la cocción de diferentes recipientes empleando estufa de bobina eléctrica, de gas natural y de placas de inducción. Para el experimento se emplearon siete recipientes (A, B, C, D, E, F, G) todos fabricados en una aleación de aluminio pero con diferentes características físicas, donde se calentaron en las diferentes estufas hasta que la base del recipiente alcanzara una temperatura de 450° F y se enfriara a 88° F, se registró la temperatura mediante el uso de cinco termopares ubicados en la base y en la pared del recipiente, los datos se procesaron empleando un método estadístico definido dando como resultado la importancia de cada factor empleado y la interacción entre ellos. Con este estudio se obtuvieron los siguientes resultados:

- Los recipientes C, D y G, tuvieron un tiempo de calentamiento cercano a 3 minutos 30 segundos, mientras que las otras tuvieron un tiempo cercano de 4 minutos y 30 segundos, el recipiente C tuvo el calentamiento más rápido en bobina eléctrica e inducción, mientras el recipiente G fue la más rápida usando gas natural.
- Se observó para gas natural, bobina eléctrica y calentamiento por inducción, una eficiencia de cocción de 28, 39.3 y 70 % respectivamente. El recipiente C utilizando gas natural y calentamiento por inducción, se tuvo una eficiencia máxima de cocción de 35.5 y 81.3 % respectivamente. El recipiente A tuvo una eficiencia máxima de cocción del 51.8% para el calentamiento de bobina eléctrica.
- Todos estos resultados pueden ser causados por la variación en el proceso de análisis, a raíz del principio de funcionamiento de las estufas, tamaño y forma de los recipientes, composición, espesor de la base y la cantidad de agua agregada (4).

“The Utilization of Heat from Electric Surface Units by Certain Cooking Utensils” (MACDONALD Lucille y PEET Louise)

Para el año de 1937 se publicó un artículo llamado *“The Utilization of Heat from Electric Surface Units by Certain Cooking Utensils”*, donde los propósitos de la investigación fueron los siguientes:

“Primero determinar la distribución de temperatura de varios tipos de unidades de transferencia de energía sobre la superficie de un utensilio de cocina.

Segundo, estudiar las variaciones en el tiempo de ebullición y las variaciones en un proceso de cocción típico de corto y largo tiempo con utensilios de diferentes materiales y acabados.

Tercero, determinar el consumo de kilovatios-hora cuando se calienta agua para cocinar en teteras de aluminio y esmalte y en bandejas de estofado de igual capacidad.” (5)

Los utensilios utilizados se hicieron a pedido para que fueran lo más uniformes posibles, idénticos en forma, tamaño y grosor. Se fabricaron con un espesor de aproximadamente 0.045 pulgadas o calibre Brown y Sharpe 17, lo que proporciona un utensilio de peso medio. Tenían lados rectos y fondos planos y una capacidad de aproximadamente 2 cuartos de galón. Cada recipiente fue equipado con tapa ajustada del mismo material al utensilio. En total se fabricaron 10 utensilios todos de materiales diferentes (aluminio y cobre) además de que cada uno poseía diversos recubrimientos, esto con el fin de observar sus comportamientos a la hora de realizar las pruebas.

La estufa u horno utilizado fue de hierro fundido construido a pedido para obtener las dimensiones y uniformidad deseadas. Diseñado para la instalación de diez unidades eléctricas para ser allí ensambladas y así conseguir el análisis del efecto que tiene cada unidad con los diferentes recipientes.

Se instalaron diversos termopares en algunos lugares específicos de cada unidad, para analizar la distribución de energía al momento de ser activados. Se sumerge un termopar en el agua contenida por los recipientes, para así medir la temperatura final e inicial del líquido. Se realizan las pruebas bajo unas condiciones específicas para lograr cumplir con el objetivo de la investigación, dando como resultado diversas conclusiones entre ellas se mencionan las siguientes:

- La distribución de temperatura sobre la superficie de cada unidad eléctrica era bastante uniforme, la temperatura en el borde exterior era ligeramente más bajo que en cualquier otra parte de la unidad.
- Las cacerolas de aluminio esmaltado, de cobre y de fondo negro del mismo tamaño, forma, grosor y contorno de la superficie inferior fueron

prácticamente iguales en eficiencia de cocción para calentar agua y para procesos de cocción típicos de tiempo corto y largo. La cacerola de aluminio con acabado natural fue ligeramente menos eficiente.

- Cuando se usaban unidades precalentadas, las unidades encapsuladas requerían el menor tiempo para cocinar. Las unidades de laberinto abiertas, fundidas y encerradas requirieron un tiempo un poco más largo, mientras que el tipo de reflector de cono requirió un tiempo considerablemente más largo.
- Un acabado de fondo negro tiende a aumentar ligeramente la eficiencia de cocción de las bandejas de aluminio, pero no aumenta la eficiencia de los utensilios de esmalte.
- Las diversas operaciones de cocción requieren un poco menos de tiempo en las unidades de superficie eléctrica encapsuladas que en los tipos de reflector de cono abierto, cerrado, fundido o en cono.
- Un utensilio para usar en una unidad eléctrica debe ajustarse a la unidad y debe tener lados rectos, una superficie inferior plana y una tapa que se ajuste bien (5)

1.2 CONCEPTO DE COCCIÓN

La cocción es un proceso por el cual se transmite energía suficiente por medio del control de la temperatura, a algún recipiente que contenga un líquido en específico, con el objetivo de cambiar las propiedades tanto físicas como químicas de lo contenido. No se limita al líquido sino también a lo que hay dentro del mismo.

Para alcanzar los resultados deseados, se debe controlar de manera adecuada la temperatura del foco calorífico y su tiempo de aplicación en el proceso, es decir, la cocción apropiada exige la perfecta combinación de dos factores principales: temperatura-tiempo.

Todo proceso de cocción requiere de energía calorífica, que, dependiendo de cada caso, exige diversos equipos capaces de convertir en calor ciertos tipos de energía, los más comunes, aquellos que poseen diferentes formatos y diversas aplicaciones son:

- cocinas o fogones: de gas (butano, propano, gas natural) o energía eléctrica (radiante e inducción).
- Hornos: incluidos en la cocina (generalmente a gas) o independientes (convección natural, convección forzada, y vapor, microondas).
- Parrillas: de gas o eléctricas.
- Freidoras: de gas o eléctricas.
- Sartenes basculantes: de gas o eléctricos.
- Cocedor de vapor: con o sin presión.
- Marmitas fijas: de gas o eléctricas, con calor directo o indirecto.
- Salamandras: de gas o eléctricas.
- Baño maría: de gas o eléctrico.

Las cocinas o fogones desde su habitual uso residencial, son los generadores de calor con gran predominancia para ser utilizados dentro de una amplia gama de temperaturas para cualquier modalidad de cocción.

También se debe tener presente, el tipo de material en el que está fabricado el utensilio (recipiente, chocolateras, etc.), ya que, dependiendo de su composición proporcionará diferentes cualidades. Es preferible el uso de aceros inoxidables ya que es un material fuerte, indeformable, de fácil limpieza y mantenimiento, elaborado con una aleación de acero y cromo (cromo-níquel). Para superar su deficiente conductividad térmica, se suelen acoplar láminas de cobre y aluminio en su base, así, el calentamiento es más rápido. Es preferible la utilización de sartenes

metálicos. Para conservar la temperatura, es mejor el uso de recipientes cerámicos, a pesar de que no sean buenos conductores de calor.

Como la cocción es un proceso de alcanzar una temperatura deseada dependiendo de la aplicación, pueden ser diversos los sistemas de tratamientos térmicos, por ello es necesario llevar un estudio que pueda determinar, cuál es la incidencia de los diversos factores que están involucrados en este proceso (6).

1.3 EFICIENCIA EN EL PROCESO DE COCCIÓN

En este trabajo, la eficiencia en la cocción, se determina a partir del calentamiento de agua contenida en un recipiente, bajo la estimulación de una estufa eléctrica monofásica. La conversión de energía eléctrica en calor, se hace por medio de dos resistencias que se activan según el grado de potencia que se requiera. Esta energía es transmitida al recipiente, elevando su temperatura, y parte de esta, se disipa en el ambiente, produciendo así pérdidas.

Para medir la eficiencia en un proceso de conversión de energía, se refiere básicamente a la fracción entre la energía que utiliza el proceso en el agua y la energía suministrada por el portador energético. Para este caso en particular, medir la eficiencia en el proceso de calentamiento o de cocción, se debe tener presente la energía contenida en el agua E_{agua} y la energía suministrada por la estufa eléctrica $E_{eléctrica}$, se puede expresar de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{E_{agua}}{E_{eléctrica}} \quad (1)$$

Para determinar la energía suministrada en el agua se halla por medio de la primera ley de la termodinámica (7):

$$E_{eléctrica} = m \times (uf - ui) \quad (2)$$

Donde m es la masa inicial de agua utilizada en el proceso de calentamiento; uf , ui , son la energía interna contenida en el agua al final y al principio del proceso de cocción respectivamente, debe considerarse que el agua se mantiene en estado líquido, y para hallar dichas energías internas a partir de la temperatura se toma como en estado líquido comprimido.

Para hallar la potencia W utilizada en cualquier aparato eléctrico es necesario conocer el voltaje V suministrado y multiplicarlo por la corriente utilizada en el proceso, lo que se traduce en la siguiente formula:

$$W = V \cdot I \quad (3)$$

El consumo de energía eléctrica por parte de la estufa puede estimarse, conociendo la potencia utilizada en cada proceso y el tiempo t que tarda el agua en alcanzar la temperatura deseada, puede expresarse de la siguiente forma:

$$E_{el\acute{e}ctrica} = W \times t \quad (4)$$

Donde W es la potencia utilizada y t tiempo que dura el calentamiento.

Se establecieron unas condiciones para la realización de dichas pruebas que se presentan en la tabla 1, la masa empleada, la temperatura inicial del agua la cual presenta un rango debido a que la temperatura ambiente variaba según la hora del día ya que no era un ambiente controlado, la temperatura final que fue establecida para evitar una gran evaporación y así pérdidas masivas de masa.

Variable	Valor	Unidad
Masa	1000	gramos
Temperatura inicial del agua	20-24	°C
Temperatura final del agua	80	°C

Tabla 1 variables principales

La pérdida de energía $E_{p\acute{e}rdida}$ es aquella que no es aprovechada en el proceso y está relacionada con la energía que es suministrada para el calentamiento y aquella utilizada para elevar la temperatura del agua, se puede representar con la siguiente expresión:

$$E_{p\acute{e}rdida} = E_{el\acute{e}ctrica} - E_{agua} \quad (5)$$

La pérdida de energía puede verse relacionada con la eficiencia del proceso de cocción η utilizando la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{E_{agua}}{E_{el\acute{e}ctrica}} - 1 \quad (6)$$

2. MONTAJE Y PLAN EXPERIMENTAL

El objetivo principal del experimento es simular el proceso de cocción mediante el calentamiento de agua, con el fin de lograr conocer la energía suministrada en dicho líquido y al mismo tiempo saber cuál es la energía utilizada por el portador energético para poder alcanzar la temperatura deseada.

La Figura 1 muestra el montaje experimental para la realización de este estudio. El montaje consta de una estufa eléctrica monofásica que se encuentra conectada a un instrumento de medición llamado medidor de potencia, el cual ayudará a determinar el consumo energético, este a su vez está conectado a un tomacorriente que suministra un voltaje de aproximadamente 120 voltios. Y con el propósito de tener una medida de contraste de la potencia de la estufa, se instala una pinza amperimétrica en uno de los cables de la estufa que contribuye en medir la corriente eléctrica utilizada en cada una de las pruebas.

El agua contenida en el recipiente, tiene un cambio en su temperatura gracias a la estimulación de la estufa. Para determinar dicho fenómeno se necesita un termopar, el cual tiene una conexión directa con un termómetro digital. Es así, como a medida que la estufa calienta el recipiente, el aumento de temperatura es captado por el termómetro-termopar.

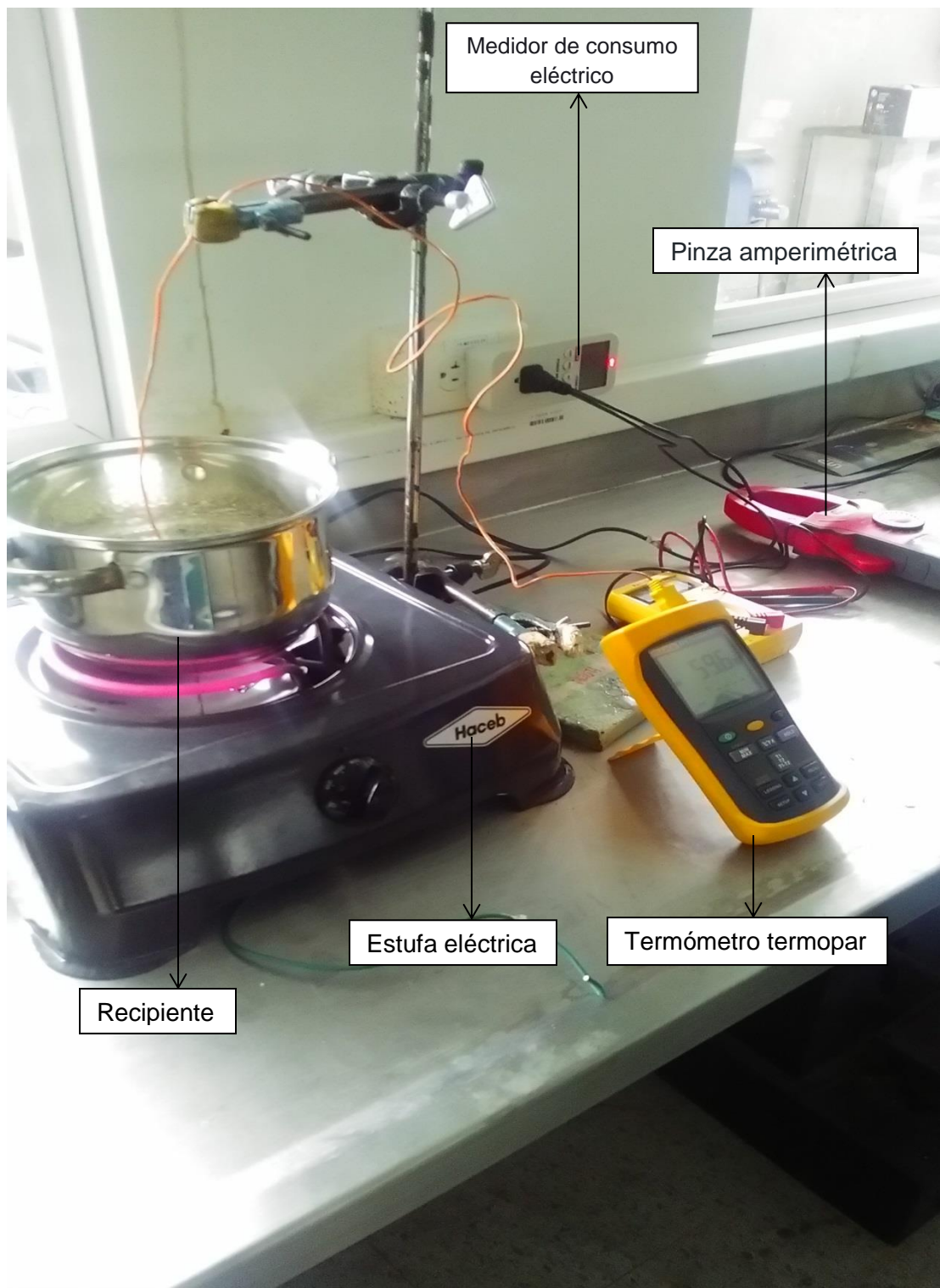


Figura 1 Montaje experimental

2.1. INSTRUMENTOS Y MATERIALES UTILIZADOS

Se utilizaron diversos los instrumentos de medición y materiales para la realización de los experimentos. A continuación, se presenta una breve descripción de cada uno de ellos.

MEDIDOR DE CONSUMO ELÉCTRICO (MEDIDOR DE POTENCIA Y ELECTRICIDAD WATTS Y KWH) PARA ENCHUFE DE PARED TIPO "KILL-A-WATT" MARCA UNI-T MODELO UT230B-US

Medidor de consumo de energía que permite saber cuánta potencia consume un aparato o dispositivo conectado a él, se debe enchufarlo a un tomacorriente, y luego conectar en el medidor el aparato del cual se quiere saber el consumo, en este caso la estufa eléctrica.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Energía	Batería de 9V
Peso neto	140 gramos
Tamaño	160 x 50 x 28 mm

Tabla 2 características generales medidor de consumo eléctrico



Figura 2 Medidor de consumo eléctrico UNI-T

PINZA AMPERIMÉTRICA UNI-T UT208A

Es una herramienta diseñada para medir corriente AC/ DC entre otras variables, se instaló en uno de los cables de suministro de energía de la estufa ya que debido al campo magnético que la corriente genera permite que este instrumento mida su magnitud.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Energía	Pila alcalina 1604A a 9V
Peso neto	533 gramos
Tamaño	286 x 105 x 45 mm

Tabla 3 Características generales pinza amperimétrica



Figura 3 Pinza amperimétrica

MULTÍMETRO RADIOSHACK 22-806

Instrumento eléctrico de medición que funciona para medir Corriente AC, Voltaje AC, Prueba de Continuidad, Corriente DC, Voltaje DC, entre otros, Se utilizó en la prueba para verificar el valor de voltaje que suministraba el tomacorriente.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Energía	Batería de 12 V
Peso neto	100 gramos
Tamaño	180 x 80 x 18 mm

Tabla 4 características generales multímetro RADIOSHACK



Figura 4 Multímetro Radioshack

TERMÓMETRO FLUKE 54 II

Este termómetro de termopar fue el ideal para tomar la temperatura ya que por su versatilidad facilita la obtención de datos, cuya resolución es de 0.1°C , el termopar empleado es de tipo k (6), se introduce en el agua tratando de que no haya contacto con la superficie del recipiente y ubicándolo en la parte más central posible, considerando que todo el líquido está a la misma temperatura para facilitar la realización de los experimentos.

CARACTERISTICAS GENERALES

Energía	3 pilas AA
Peso neto	280 gramos
Tamaño	2,8 x 7,8 x 16,5 cm

Tabla 5 características generales termómetro FLUKE 54 II



Figura 5 Termómetro FLUKE 54 II

BALANZA JAVAR

Se utilizó este tipo de balanza para medir la masa del agua antes y después de la prueba ya que se quiere verificar si es significativa la pérdida de masa, tiene capacidad de carga máxima de 3 kilogramos y posee una resolución de 0,1 gramos.



Figura 6 Balanza JAVAR

ESTUFA ELÉCTRICA MONOFÁSICA

Estufa eléctrica Haceb de un puesto, muy práctica y de fácil manipulación. Trabaja a 120 voltios y a una potencia máxima de 1100 W. Su principal característica es poseer resistencias eléctricas tubulares, las cuales contiene una bobina de hilo resistivo que esta soldado a los extremos de las espigas. La bobina está aislada del tubo exterior por la magnesita que se compacta para fijarla y facilitar la transmisión de calor al tubo exterior de las resistencias (8).



Figura 7 Estufa eléctrica

El circuito interno es ilustrado en la Figura 8 está compuesto por dos resistencias una interior y una exterior que están conectadas a un interruptor que, dependiendo de la forma de conexión, puede suministrar tres niveles de potencia: bajo, medio y alto (9).

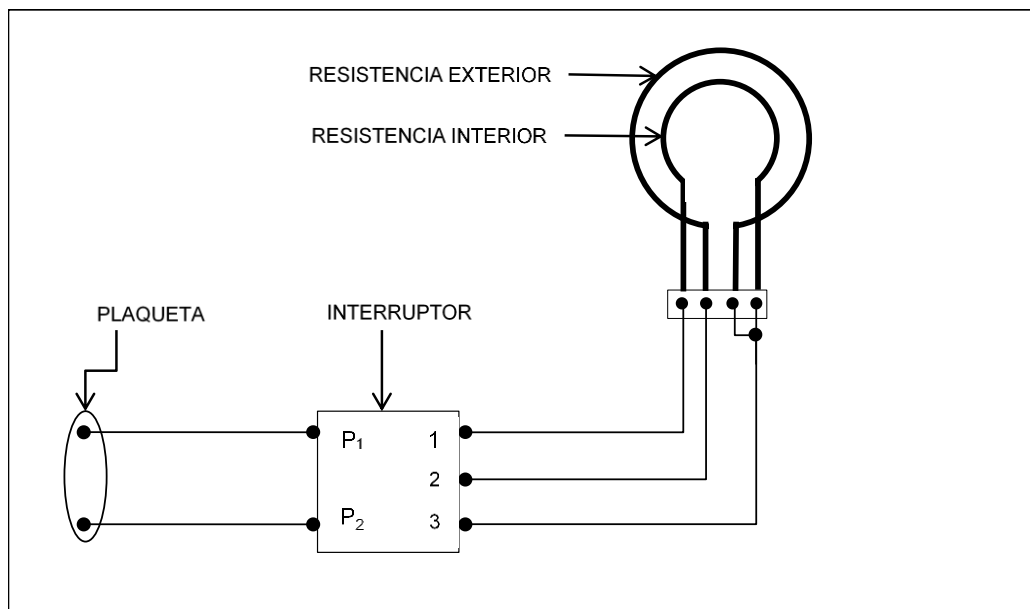


Figura 8 Esquema de conexión de la estufa eléctrica

Los puntos P₁ y P₂ se conectan al suministro de energía y los puntos 2, 3 y 4, están conectados a las resistencias, dependiendo de la posición del interruptor la conexión de las resistencias con la fuente de alimentación variara. El interruptor en la parte exterior posee una perilla que tiene marcado las tres posiciones de calor que se pueden elegir, existen cuatro posiciones fundamentales: apagado, bajo, medio y alto (9).

En la posición APAGADO, como se ve en la Figura 9, ninguna de las resistencias está conectada a la fuente de alimentación. Para la posición BAJO, las dos resistencias se mantienen conectadas en serie, esto a través de la operación realizada por el interruptor. De acuerdo a esta conexión, la tensión se reparte entre las dos resistencias, haciendo que el calentamiento sea lento y se emplee poca potencia. El punto P₁ está conectado al punto 2 y el punto P₂ está conectado al punto 3 como se ve en la Figura 10 (9).

En la posición MEDIO, la resistencia del centro es la única que queda conectada a la red de alimentación; el punto P₁ se conecta con el punto 2 y el P₂ lo realiza con el punto 3 como se ve en la figura 11. En esta posición, el calentamiento es más rápido, debido a que la tensión que se aplica, se enfoca a esta sola resistencia. Lo que se traduce en un aumento significativo de la potencia empleada (9).

En la posición ALTO, las resistencias quedan conectadas en paralelo, es decir, cada resistencia utiliza la misma cantidad de tensión, lo que genera que la potencia sea mucho más alta, y a su vez, que el calentamiento sea mucho más rápido. En cuanto

al interruptor, se realiza un puente del punto P₁ con el punto 2 y 3 y P₂ se conecta al punto 4 como se ve en la Figura 12 (9).

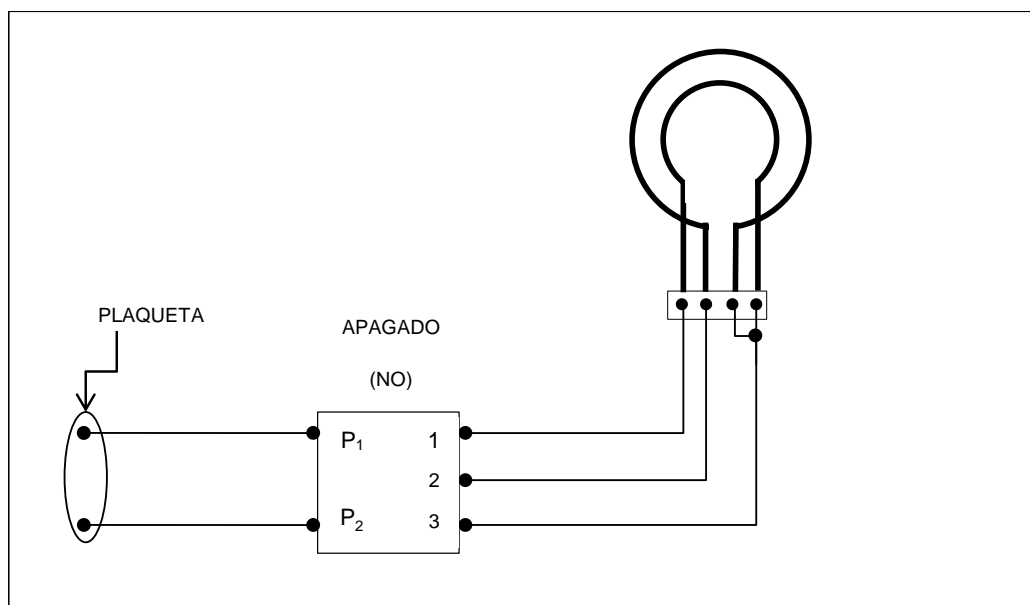


Figura 9 Esquema de conexión para la posición apagado

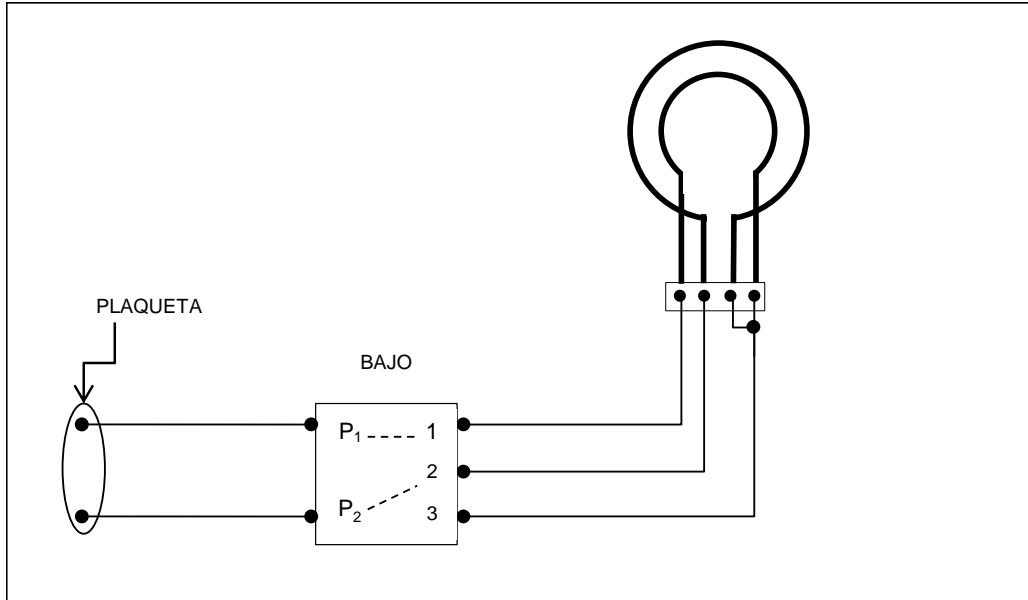


Figura 10 Esquema de conexión para la posición bajo

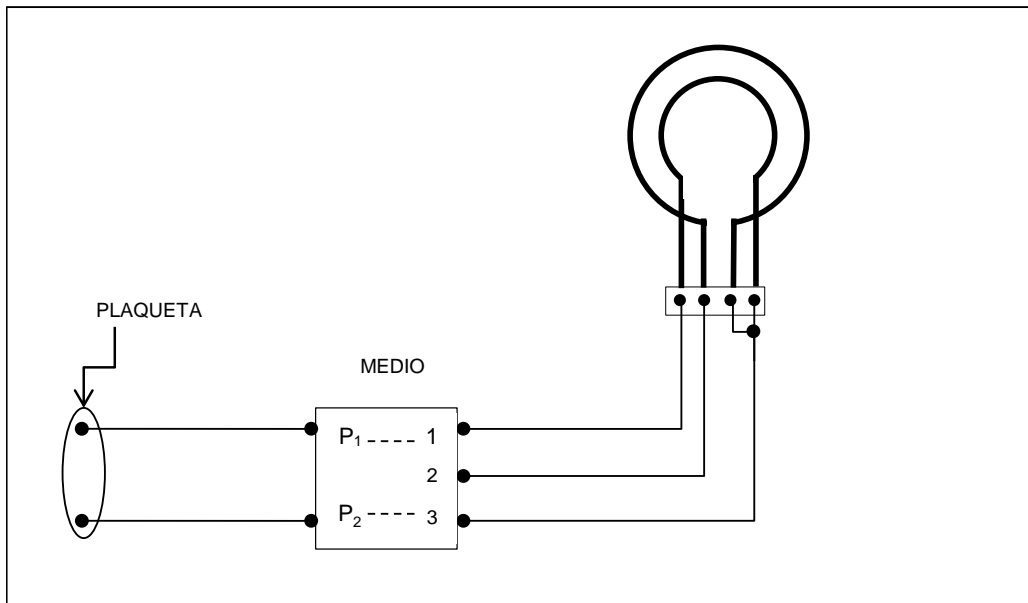


Figura 11 Esquema de conexión para la posición medio

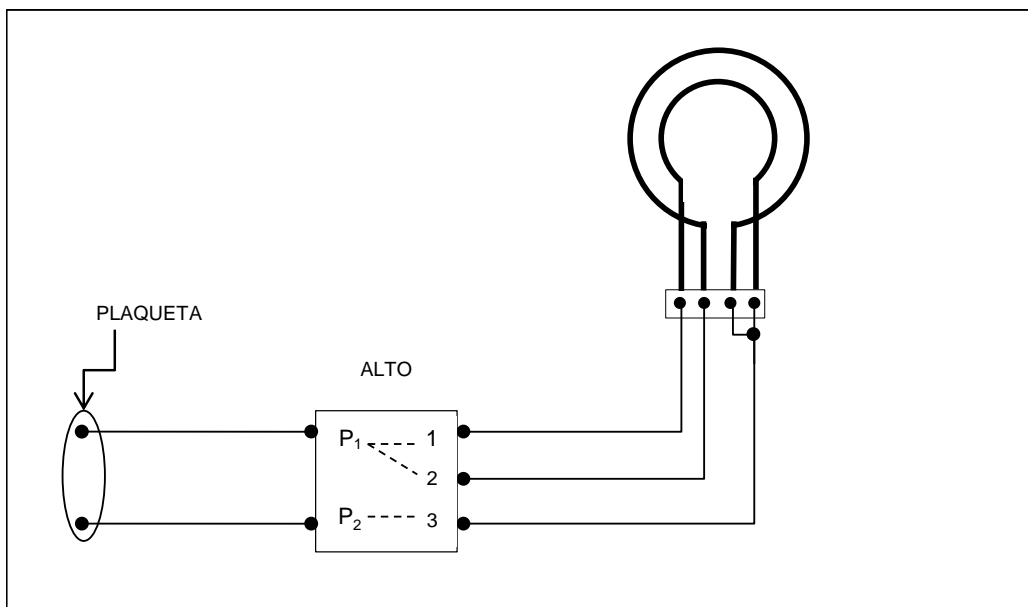


Figura 12 Esquema de conexión para la posición alto

2.1.7. RECIPIENTES

Las características principales de los utensilios empleados se presentan en la siguiente tabla:

Recipientes	Material	Diámetro de base	Espesor de base
Calderero	Aluminio	180 mm	1.7 mm
Olla chocolatera	Aluminio	141 mm	0.9 mm
Calderero eficiente	Acero inoxidable	131.6 mm	5 mm

Tabla 6 Características generales de los recipientes



Figura 13 Calderero



Figura 14 Olla chocolatera



Figura 15 Calderero eficiente

2.2 PLAN EXPERIMENTAL

En la ejecución del proyecto propuesto, las pruebas tuvieron unas variables significativas, mencionadas así en la Tabla 1.

Para llegar a dichas conclusiones, se debe obtener el consumo de potencia de la estufa eléctrica, para ello es necesario conocer la tensión suministrada por el tomacorriente, así, se multiplica por la corriente requerida y por el tiempo que dura el proceso de calentamiento del agua, partiendo de una temperatura inicial hasta una final.

Estas variables se toman gracias al Medidor De Consumo Eléctrico, el cual se utilizó para el proceso de verificación. Se determinó que los valores arrojados por este instrumento serían la base para realizar el estudio. Las pruebas se llevaron a cabo en la ciudad de Pereira, con una presión atmosférica aproximada de 86 kPa y a una temperatura ambiente que variaba según la hora del día, entre 20°C y 24°C.

Para realizar el experimento, se implementó un diseño factorial 3^k , considera k como los factores empleados y 3, el número de niveles por cada uno de ellos. Esta configuración, permite conocer la influencia de los diversos factores sobre una variable de respuesta.

Los factores empleados en este estudio fueron de dos:

-*Tipo de recipiente*: aquí, se emplearon 3 niveles o tres recipientes diferentes: calderero, olla chocolatera y calderero eficiente.

-*Nivel de la estufa*: a partir de las características funcionales de la estufa, se permite tomar tres niveles de energía: bajo, medio y alto.

De esta manera, se tomaron tres recipientes diferentes para calentar un kilogramo de agua, en la estufa eléctrica monofásica con sus tres niveles de energía correspondientes.

A la hora de realizar las combinaciones, se delega para el primero factor, A1 el calderero, A2 la olla chocolatera y A3 el calderero eficiente. Para el segundo factor se delega de la siguiente forma, el nivel bajo serán B1, el nivel medio B2 y para el nivel alto B3. Este diseño factorial se representa de manera geométrica por los puntos del cuadrado de la Figura 16, donde se representa cada combinación o tratamiento posible, lo que corresponde a $3^2 = 9$. El área limitada por este cuadrado, se conoce como *región experimental* y, en principio, las conclusiones que se obtengan del experimento solo tienen validez sobre esta región. (10)

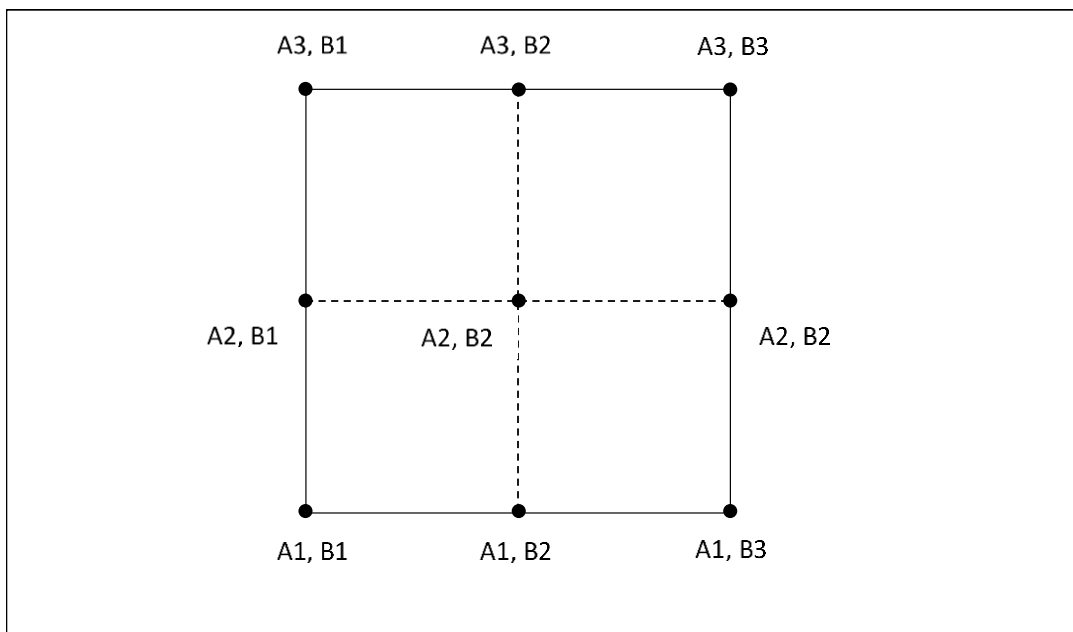


Figura 16 Representación gráfica de todos los tratamientos posibles

En la realización de los experimentos, se estableció un plan de pruebas como se indica en la Tabla 7. Se recorre de forma aleatoria cada uno de los tratamientos, de manera que los posibles efectos ambientales y temporales se vayan repartiendo equitativamente entre las pruebas. Para determinar el número de experimentos a realizar, se multiplica las combinaciones totales por la cantidad de réplicas, y se determinó que, por cada combinación se efectuaran tres replicas, lo cual genera un total de 27 experimentos.

Plan de pruebas						
Combinación				Orden de la corrida		
		Tipo de recipiente	Potencia eléctrica			
A1	B1	Calderero	Nivel bajo	1	2	3
A1	B2	Calderero	Nivel medio	4	5	6
A1	B3	Calderero	Nivel alto	7	8	9
A2	B1	Olla chocolatera	Nivel bajo	10	11	12
A2	B2	Olla chocolatera	Nivel medio	13	14	15
A2	B3	Olla chocolatera	Nivel alto	16	17	18
A3	B1	Calderero eficiente	Nivel bajo	19	20	21
A3	B2	Calderero eficiente	Nivel medio	22	23	24
A3	B3	Calderero eficiente	Nivel alto	24	26	27

Tabla 7 Orden experimental para cada combinación

2.2.1 PROCESO EXPERIMENTAL DE MEDICIÓN

Para realizar la toma de datos es necesario que el lugar en donde se van a realizar las pruebas esté libre de alguna influencia que haga variar la temperatura ambiente. Sin embargo, el sitio donde se realizaron las pruebas experimentales, no garantiza esta condición y eso es un factor no controlable en este estudio.

Así, los pasos de la prueba experimental son:

- a) Verificar que existan los utensilios para la prueba (instrumentos, materiales).
- b) Verificar el estado de los instrumentos y los materiales para la prueba.
- c) Identificar que el lugar donde se van a realizar las pruebas sea el adecuado, que este despejado, que sea seguro para instalar los instrumentos y toma de datos.
- d) Organizar el espacio de prueba.
- e) Calibrar la balanza con el recipiente y luego llenarlo con un kilogramo de agua.
- f) Luego de ubicar el recipiente en la estufa, se coloca los termopares en el centro de cada recipiente. Se conecta el medidor de energía, ubicando los instrumentos de medición de energía. Se programa el cronómetro y la agenda donde se tomarán los datos.
- g) Tomar la temperatura inicial del agua.
- h) Encender la estufa con el nivel establecido en el plan de pruebas.
- i) Tener en cuenta que se ha definido que la temperatura final debe ser aproximada a 80 °C.
- j) Hacer un registro de la temperatura hasta alcanzar los 80 °C.
- k) Tomar los valores de las variables eléctricas en el momento que alcance la temperatura de 80 °C.
- l) Al alcanzar la temperatura deseada, se retira el recipiente. Luego se pesa con el fin de saber qué tanta masa se perdió en el proceso.
- m) Se registran los datos en las tablas previamente configuradas en Excel.
- n) Se enfría tanto la estufa como el recipiente empleando un ventilador, y se procede a repetir el procedimiento para las otras pruebas según el plan establecido, considerando las variables de los dos factores antes mencionados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 8, se presentan los datos de temperatura inicial y final en cada una de las combinaciones. Debido a que no se tenían unas condiciones ambientales controladas, la temperatura inicial tenía variaciones dependiendo la hora en que se realizaba cada prueba. Por otra parte, la temperatura final permanece y llega hasta los 80°C, para así evitar gran pérdida de masa.

Se debe tener especial cuidado al momento de enfriar los recipientes y la estufa, ya que esto reduce los sesgos y permite que todas las pruebas pudieran tener condiciones térmicas similares.

Combinación		Temperatura [°C]					
		Repetición					
		1		2		3	
		Temp. Inicial	Temp. Final	Temp. Inicial	Temp. Final	Temp. Inicial	Temp. Final
A1	B1	23.0	80.0	23.0	80.0	23.5	80.0
A1	B2	20.7	80.0	23.3	80.0	21.0	80.0
A1	B3	21.7	80.0	21.3	80.0	23.1	80.0
A2	B1	20.6	80.0	22.0	80.0	23.4	80.0
A2	B2	21.5	80.0	22.9	80.0	23.2	80.0
A2	B3	23.4	80.0	23.5	80.0	20.0	80.0
A3	B1	19.2	75.3	19.5	76.8	22.6	77.2
A3	B2	23.7	80.0	22.3	80.0	20.8	80.0
A3	B3	21.3	80.0	22.8	80.0	22.0	80.0

Tabla 8 Resultados de temperatura inicial y final del proceso de calentamiento

Seguidamente, se midió la cantidad de masa al inicio y al final de cada proceso de calentamiento, con el objetivo de determinar si la cantidad de masa perdida en el proceso era significativa. En el planteamiento experimental, se abstuvo del uso de alguna tapa o recubrimiento para los recipientes, ya que, por obvias razones este aditamento influye en el calentamiento, haciéndolo más eficiente, por tanto, no se contempla en el plan de trabajo.

Combinación		Masa [gramos]								
		Repetición								
		1			2			3		
		Masa inicial	Masa final	% Pérdida	Masa inicial	Masa final	% Pérdida	Masa inicial	Masa final	% Pérdida
A1	B1	1000	941.8	5.8	1000	948.3	5.2	1000	951.1	4.9
A1	B2	1000	977.1	2.3	1000	977.2	2.3	1000	975.0	2.5
A1	B3	1000	988.2	1.2	1000	989.3	1.1	1000	990.3	1.0
A2	B1	1000	961.0	3.9	1000	959.1	4.1	1000	965.6	3.4
A2	B2	1000	992.0	0.8	1000	990.3	1.0	1000	991.9	0.8
A2	B3	1000	992.5	0.8	1000	992.6	0.7	1000	992.7	0.7
A3	B1	1000	867.0	13.3	1000	870.3	13.0	1000	865.2	13.5
A3	B2	1000	984.7	1.5	1000	985.1	1.5	1000	986.5	1.4
A3	B3	1000	988.2	1.2	1000	987.0	1.3	1000	986.6	1.3

Tabla 9 Masa de agua inicial y final en el proceso de calentamiento

En la anterior tabla, se puede observar que la pérdida de masa para cada combinación es reducida, menor al 2% por ciento, por tanto, no es un factor a considerar en la realización del estudio, aunque para la combinación (A3, B1), existe una gran pérdida de masa que ronda el 13% por ciento, esto podría explicarse a raíz de que el líquido toma mucho tiempo en aproximarse a la temperatura deseada según lo presentado en la Tabla 10.

En la Tabla 10, se presentan los tiempos de calentamiento o cocción para cada uno de los tratamientos.

Combinación		Tiempo de duración del proceso								
		Repetición								
		1			2			3		
		Minutos	Segundos	Equivalente en horas	Minutos	Segundos	Equivalente en horas	Minutos	Segundos	Equivalente en horas
A1	B1	34	20	0.57	31	58	0.53	30	46	0.51
A1	B2	16	37	0.28	15	17	0.25	16	30	0.28
A1	B3	8	54	0.15	8	17	0.14	7	53	0.13
A2	B1	48	49	0.81	46	23	0.77	40	51	0.68
A2	B2	11	15	0.19	11	27	0.19	10	39	0.18
A2	B3	9	9	0.15	8	54	0.15	9	38	0.16
A3	B1	84	21	1.41	80	3	1.33	80	1	1.33
A3	B2	13	5	0.22	13	11	0.22	12	50	0.21
A3	B3	10	30	0.18	10	45	0.18	11	12	0.19

Tabla 10 Resultados del tiempo de duración del proceso de calentamiento

Como se aprecia en la anterior tabla, los tiempos de calentamiento para el nivel alto de energía (B3) fueron los más bajos, ya que es el que más potencia utiliza en todo el proceso, seguido del nivel medio de energía y, por último, el de nivel bajo. La combinación que menor tiempo se llevó fue la (A1, B3) y la que tardó más fue la (A3, B1).

La potencia utilizada por la estufa fue registrada por el medidor de consumo de energía Eléctrica, dichos valores son presentados en la Tabla 11, Se puede observar que la mayor potencia utilizada en el proceso se registra en donde se empleó el mayor nivel de energía (B3), más exactamente en la combinación (A2, B3), comparando los datos de la Tabla 11 y la Tabla 10 se verificar que a mayor potencia menor será el tiempo empleado para elevar la temperatura del agua, aunque esto no quiere decir que sea la forma más eficiente en el proceso de calentamiento.

Combinación		Potencia [kW]		
		Repetición		
		1	2	3
A1	B1	0,294	0,297	0,304
A1	B2	0,665	0,675	0,638
A1	B3	1,096	1,126	1,139
A2	B1	0,289	0,290	0,299
A2	B2	0,675	0,660	0,684
A2	B3	1,130	1,168	1,112
A3	B1	0,289	0,292	0,286
A3	B2	0,634	0,670	0,632
A3	B3	1,139	1,126	1,080
A1:Calderero; A2:Olla chocolatera;A3:Calderero eficiente;B1:Nivel bajo;B2:Nivel medio;B3:Nivel alto.				

Tabla 11 Potencia utilizada en el proceso de calentamiento

La energía suministrada por la estufa en el proceso se registra en la Tabla 12.

Energía de la estufa [kWh]				
Combinación		Repetición		
		1	2	3
A1	B1	0,17	0,16	0,16
A1	B2	0,18	0,17	0,18
A1	B3	0,16	0,16	0,15
A2	B1	0,24	0,22	0,20
A2	B2	0,13	0,13	0,12
A2	B3	0,17	0,17	0,18
A3	B1	0,41	0,39	0,38
A3	B2	0,14	0,15	0,14
A3	B3	0,20	0,20	0,20
A1:Calderero; A2:Olla chocolatera;A3:Calderero eficiente;B1:Nivel bajo;B2:Nivel medio;B3:Nivel alto.				

Tabla 12 Energía consumida por la estufa durante el proceso

Para determinar los datos anteriores, es necesario emplear la ecuación 4, utilizando los valores de las Tabla 10 y la Tabla 11. La combinación que presentó menor consumo de energía fue la (A2, B2) aunque cabe señalar que, otras combinaciones presentaron valores muy similares, destacando a las que poseen B2 (potencia media). La combinación que presentó mayor consumo de energía fue la (A3, B1). Pueden ser diversos los factores que produzcan estos resultados, ya sea, por las características físicas de los recipientes o por los de la misma estufa, es decir las dimensiones de las resistencias (espesor, diámetro).

La energía suministrada en el agua se determina utilizando la ecuación 2, donde se emplea la temperatura final e inicial para hallar sus energías internas y la masa del líquido durante el proceso de calentamiento, Los valores de cada tratamiento se presentan en la Tabla 13.

Energía del agua [kJ]				
Combinación		Repetición		
		1	2	3
A1	B1	238,5	238,5	236,4
A1	B2	248,1	237,3	246,9
A1	B3	243,9	245,6	238,1
A2	B1	248,5	242,7	236,8
A2	B2	244,8	238,9	237,7
A2	B3	236,8	236,4	251,1
A3	B1	234,7	239,7	228,4
A3	B2	235,6	241,4	247,7
A3	B3	245,6	239,3	242,7
A1:Calderero; A2:Olla chocolatera;A3:Calderero eficiente;B1:Nivel bajo;B2:Nivel medio;B3:Nivel alto.				

Tabla 13 Energía consumida por el agua durante el proceso

Para determinar la energía perdida se implementó la ecuación 5 tomando los datos de la Tabla 13 y la Tabla 11, los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Energía perdida en el proceso [kWh]				
Combinación		Repetición		
		1	2	3
A1	B1	0,10	0,09	0,09
A1	B2	0,12	0,11	0,11
A1	B3	0,09	0,09	0,08
A2	B1	0,17	0,16	0,14
A2	B2	0,06	0,06	0,06
A2	B3	0,11	0,11	0,11
A3	B1	0,34	0,32	0,32
A3	B2	0,07	0,08	0,07
A3	B3	0,13	0,14	0,13
A1:Calderero; A2:Olla chocolatera;A3:Calderero eficiente;B1:Nivel bajo;B2:Nivel medio;B3:Nivel alto.				

Tabla 14 Energía durante el proceso de calentamiento

En cualquier proceso de transferencia de energía se presentan pérdidas, ya que no existe ningún proceso 100% eficiente. Las pérdidas para este experimento se manifiestan en forma de calor que se disipa en el ambiente. Comparando los valores de la Tabla 13 y la Tabla 14, se puede observar que la combinación cacerola eficiente con nivel de potencia bajo (A3, B1) presenta grandes pérdidas y al mismo

tiempo es la que más energía utiliza en el proceso, y la combinación chocolatera con nivel de potencia media (A2, B2) tiene menos pérdidas y poco consumo de energía.

La siguiente tabla presenta las pérdidas en términos de porcentaje:

Energía perdida en el proceso [%]				
Combinación		Repetición		
		1	2	3
A1	B1	60,6	58,1	57,9
A1	B2	62,6	61,7	60,9
A1	B3	58,3	56,1	55,8
A2	B1	70,6	69,9	67,6
A2	B2	46,3	47,3	45,6
A2	B3	61,8	62,1	60,9
A3	B1	84,0	82,9	83,4
A3	B2	52,6	54,4	49,1
A3	B3	65,8	67,0	66,6
A1:Calderero; A2:Olla chocolatera;A3:Calderero eficiente;B1:Nivel bajo;B2:Nivel medio;B3:Nivel alto.				

Tabla 15 Energía perdida durante el calentamiento en términos de porcentaje

La eficiencia del proceso de cocción, se calcula a partir de la ecuación 6, utilizando los datos de la Tabla 11 y la Tabla 13, el resultado de este cálculo se refleja en la Tabla 16, donde también se ilustra el valor promedio para cada uno de los tratamientos.

Eficiencia del proceso [%]					
Combinación		Repetición			Promedio
		1	2	3	
A1	B1	39,37	41,87	42,13	41,1
A1	B2	37,42	38,33	39,10	38,3
A1	B3	41,68	43,89	44,19	43,3
A2	B1	29,36	30,07	32,36	30,6
A2	B2	53,72	52,69	54,38	53,6
A2	B3	38,18	37,90	39,06	38,4
A3	B1	16,03	17,10	16,62	16,6
A3	B2	47,36	45,56	50,90	47,9
A3	B3	34,23	32,96	33,44	33,5
A1:Calderero; A2:Olla chocolatera;A3:Calderero eficiente;B1:Nivel bajo;B2:Nivel medio;B3:Nivel alto.					

Tabla 16 Eficiencia en el proceso de cocción en términos de porcentaje

Para dar una idea más clara sobre el comportamiento del tratamiento se emplea la Tabla 17, donde se clasifica en orden descendente, desde el más eficiente hasta el menos eficiente desde su valor promedio.

Eficiencia del proceso [%]					
Combinación		Repetición			Promedio
		1	2	3	
A2	B2	53,7	52,7	54,4	53,6
A3	B2	47,4	45,6	50,9	47,9
A1	B3	41,7	43,9	44,2	43,3
A1	B1	39,4	41,9	42,1	41,1
A2	B3	38,2	37,9	39,1	38,4
A1	B2	37,4	38,3	39,1	38,3
A3	B3	34,2	33,0	33,4	33,5
A2	B1	29,4	30,1	32,4	30,6
A3	B1	16,0	17,1	16,6	16,6
A1:Calderero; A2:Olla chocolatera;A3:Calderero eficiente;B1:Nivel bajo;B2:Nivel medio;B3:Nivel alto.					

Tabla 17 Eficiencia del proceso organizada de forma descendente

Como se puede observar, en primer lugar, la combinación que presenta mejor eficiencia es la (A2, B2) olla chocolatera con potencia media. La potencia promedio es de 673 W encendiendo la resistencia interior. Esta resistencia está cobijada totalmente por la superficie del recipiente, el cual fue fabricado de aluminio y brinda alta conductividad térmica, además su espesor contenido en la base es de 0,9 mm, lo que facilita la transferencia de energía. Estas características, pudieron tener gran

influencia en el resultado obtenido, ya que es el proceso que menores pérdidas presenta, con un valor promedio de 46,4% y con una menor potencia utilizada.

En segundo lugar, en eficiencia energética se encuentra la combinación (A3, B2) calderero eficiente con potencia media. Se evidencia nuevamente la influencia de la potencia media que utiliza en promedio 645,2 W, pero esta vez con un recipiente que posee unas características diferentes. Este utensilio está fabricado de acero inoxidable y el espesor de su base es de aproximadamente de 5 mm, abarcando totalmente la resistencia interior, además de que se debe considerar que este recipiente fue diseñado con el fin de facilitar la transferencia de energía. Se obtuvo unas pérdidas promedio del 49,2%.

En tercer lugar, de combinación más eficiente tenemos la (A1, B3) calderero con potencia alta. Un calderero fabricado en aluminio, con un espesor en la base de aproximadamente 1,7 mm, Las dos resistencias se encendieron, utilizando una potencia promedio de 1120,3 W, una potencia alta que genera un calentamiento rápido. Las pérdidas en su valor promedio son del 56,7%. Este resultado, puede tener su origen a que toda el área de contacto del recipiente cubre las dos resistencias, teniendo como efecto gran aprovechamiento de la energía.

En el cuarto lugar, la combinación que presenta mejor comportamiento es la (A1, B1) calderero con potencia baja. El calderero cubre ambas resistencias aprovechando al máximo la energía proporcionada por ellas. Se utiliza una potencia promedio de 298,4 W, siendo una de las más bajas, produciendo un calentamiento más lento y el lapso de tiempo para alcanzar la temperatura deseada es muy alto de unos 34 minutos, sin embargo, las pérdidas no son muy altas, con un valor promedio del 58,9%.

Para el quinto lugar encontramos la combinación (A2, B3) chocolatera con nivel de potencia alta, con una potencia promedio de 1136,7 W. Este resultado se debe a que la base de la chocolatera no tiene pleno contacto con la resistencia exterior, pero cubre en su totalidad la interior. Ambas utilizan la misma cantidad de energía, pero se puede notar que no se aprovecha al máximo la energía suministrada, teniendo como resultado pérdidas en promedio del 61,6%.

En la sexta combinación, se ubica la (A1, B2) calderero con nivel de potencia media. El calderero cubre ambas resistencias, pero para este caso, solo se enciende la resistencia del medio. Debido al tamaño del recipiente, la transferencia de energía requiere gran cantidad tiempo, ya que debe distribuirse por todo el volumen ocupado para alcanzar la temperatura deseada. Utilizando una potencia promedio de 659,3 W, como resultado se tienen unas pérdidas significativas del 61,7%.

Luego, en la séptima combinación (A3, B3) calderero eficiente con potencia alta y de acuerdo a las dimensiones de la base del calderero, solo realiza el contacto con una

resistencia, nuevamente se observa un desaprovechamiento que produce pérdidas del 66,5%. A pesar de que el calentamiento del líquido se realiza en corto tiempo, la potencia utilizada es muy alta aproximadamente de 1115 W.

Para la octava combinación se encuentra (A2, B1) chocolatera con nivel de potencia baja. El diámetro de contacto de la chocolatera, es de aproximadamente 133,3 mm, lo que no permite alcanzar el contacto con las dos resistencias, provocando un desaprovechamiento de la energía suministrada ya que para este proceso se deben encender las dos resistencias. Se utiliza una potencia promedio de 292,5 W, generando así, un calentamiento demasiado demorado, lo que conlleva a que se tengan unas pérdidas del 69,4%.

Así, la combinación que presenta la más baja eficiencia es la (A3, B1) calderero eficiente con nivel de potencia baja. Se utiliza una de las potencias más bajas 289,1 W en promedio, de acuerdo a la configuración del nivel de energía, se encienden las dos resistencias, pero como el diámetro de contacto del calderero es de 129,4 mm, no alcanza a realizar el contacto con la segunda resistencia desaprovechando la energía que esta proporciona. Debido al espesor de la base del recipiente y a la poca potencia aprovechada, la transferencia de energía se dificulta, lo que no solo no permite alcanzar la temperatura deseada sino, que tome mucho tiempo en calentarse el líquido. Generando unas pérdidas en promedio del 83,4%.

3.1 ANÁLISIS DE DATOS EMPLEANDO EL ANOVA

Para este análisis, se emplea el análisis de varianza (ANOVA) la cual es una técnica central en el análisis de datos experimentales. La idea general de esta técnica es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento (10).

En la siguiente tabla se presentan los resultados de las pruebas, organizada de tal forma que facilite el tratamiento estadístico establecido por la ANOVA.

	B:nivel de estufa									
A:recipiente	1.bajo			2.medio			3.alto			total
1.calderero	39,37	41,87	42,13	37,42	38,33	39,10	41,68	43,89	44,19	367,98
2.chocolatera	29,36	30,07	32,36	53,72	52,69	54,38	38,18	37,90	39,06	367,73
3.calderero efi.	16,03	17,10	16,62	47,36	45,56	50,90	34,23	32,96	33,44	294,19
total	264,91			419,46			345,53			1029,90

Tabla 18 Datos obtenidos para cada combinación

Como se quiere comprobar si la influencia de los dos factores en el proceso es la misma (la cual es nuestra hipótesis nula), se emplea la tabla de análisis de varianza, en esta se resume el análisis de varianza de un experimento, que sirve para probar la hipótesis de interés, dicha tabla tiene como objetivo recopilar información para calcular el estadístico F_o hasta llegar al valor- p como se observa a continuación:

FV	SC	GL	CM	F_o	Valor- p
A	SC_A	2	CM_A	CM_A / CM_E	$P(F > F_o)$
B	SC_B	2	CM_B	CM_B / CM_E	$P(F > F_o)$
AB	SC_{AB}	4	CM_{AB}	CM_{AB} / CM_E	$P(F > F_o)$
Error	SC_E	$3^2(n - 1)$	CM_E		
Total	SC_T	$n3^k - 1$			

Tabla 19 Análisis de varianza ANOVA para un diseño 3^2

Donde FV = fuente de variabilidad (efecto), SC = suma de cuadrados, GL = grados de libertad, CM = cuadrado medio, F_o = estadístico de prueba, valor- p = significancia observada; si F_o es grade se contradice la hipótesis si no lo es confirmaría su valides. Las sumas cuadradas para los tres efectos están dadas por:

$$SC_A = \sum_{i=1}^3 \frac{Y_{i..}^2}{3n} - \frac{Y_{...}^2}{n3^2}$$

$$SC_B = \sum_{j=1}^3 \frac{Y_{.j.}^2}{3n} - \frac{Y_{...}^2}{n3^2}$$

$$SC_{AB} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{Y_{ij.}^2}{n} - \frac{Y_{...}^2}{n3^2} - SC_A - SC_B$$

La suma de cuadrados total se obtiene con:

$$SC_T = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{...}^2}{n3^2}$$

El error aleatorio se calcula con la diferencia:

$$SC_E = SC_T - SC_{AB} - SC_A - SC_B$$

Aplicando estas fórmulas obtenemos los siguientes resultados:

$$SC_A = \frac{367.98^2 + 367.73^2 + 294.19^2}{3 \times 3} - \frac{1029.90^2}{27} = 401.96$$

$$SC_B = \frac{264.91^2 + 419.46^2 + 345.53^2}{3 \times 3} - \frac{1029.90^2}{27} = 1327.87$$

$$SC_{AB} = \frac{123.37^2 + 114.85^2 + \dots + 100.63^2}{3} - \frac{1029.90^2}{27} - 401.96 - 1327.87 = 1008.56$$

$$SC_T = 39.7^2 + 41.83^2 + 42.13^2 + \dots + 34.23^2 + 32.96^2 + 33.44^2 - \frac{1029.90^2}{27} = 2771.9$$

$$SC_E = 2771.9 - 1008.56 - 1327.87 - 401.96 = 33.$$

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
A	401,96	2	200,98	109,31	2,21E-13
B	1327,87	2	663,94	361,09	1,0778E-19
AB	1008,56	4	252,14	137,13	4,4789E-17
Error	33,10	18	1,84		
Total	2771,49	26			

Tabla 20 ANOVA para el diseño 3^2

Los grados de libertad para A y B son el número de niveles menos uno $3 - 1 = 2$, en total el experimento tiene $(3 \times 3^2) - 1 = 26$ grados de libertad y el error $26 - 2 - 2 - 4 = 18$.

Si el valor- p para un efecto es menor que 0.05, entonces se rechaza la correspondiente hipótesis nula, y se concluye que tal fuente de variación afecta de manera significativa a la variable de respuesta. Como se ve en los resultados de la tabla es evidente que cada factor es muy representativo, ya que su valor- p es menor de 0.05 y son diferentes entre sí, rechazando de esta forma la hipótesis de que ambos factores tienen la misma influencia en el proceso; se observa además que el factor B (potencia eléctrica) es el de mayor incidencia ya que es el valor más pequeño.

Los siguientes gráficos tienen como objetivo ilustrar el efecto de los diversos factores y la interacción entre ellos sobre la eficiencia energética en el proceso de calentamiento.

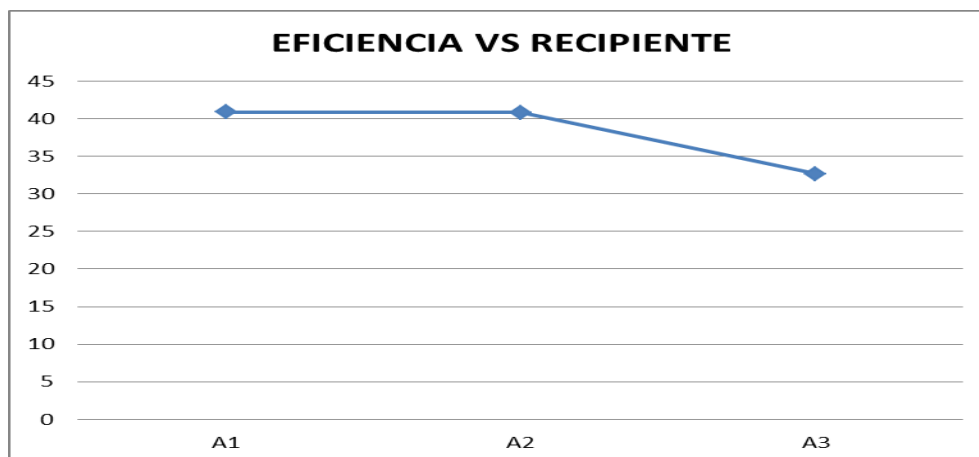


Figura 17 Grafica de eficiencia vs tipo de recipiente

La Figura 17 representa el efecto que tiene el tipo de recipiente en el proceso de calentamiento sin tener presente el nivel de potencia, en el eje horizontal se ubica el

factor recipiente y en el vertical la eficiencia, es evidente la poca variación en eficiencia que existe entre los tres recipientes, con un comportamiento casi lineal es decir una pendiente muy poco pronunciada sobre todo en los puntos A1 y A2, lo que quiere decir que su efecto sobre el proceso es muy bajo.

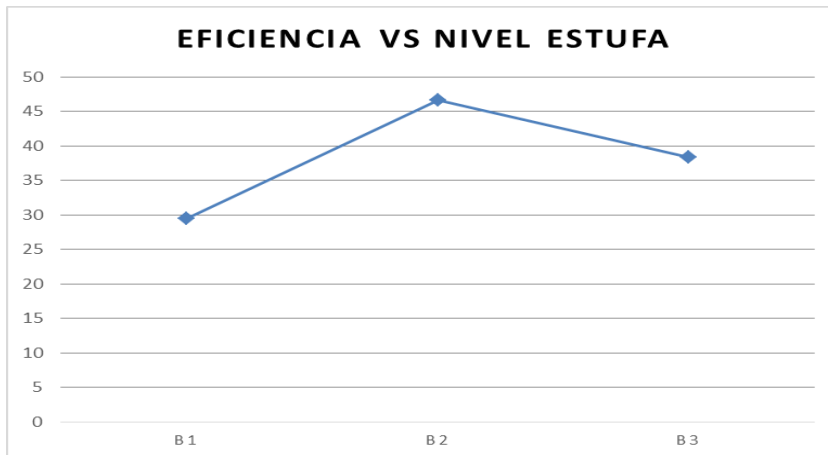


Figura 18 Grafica de eficiencia vs nivel de potencia de la estufa

La Figura 18 ilustra el comportamiento del nivel de potencia de la estufa en el proceso, frente a la eficiencia, en ella se ubica en el eje horizontal el nivel de potencia de la estufa y en el vertical la eficiencia; es evidente la gran variación entre los tres niveles de potencia, debido a que posee unas pendientes muy pronunciadas, sobre todo en los puntos B1 y B2 donde su efecto en el proceso es muy significativo.

La interacción entre los dos factores se representa en las siguientes graficas:

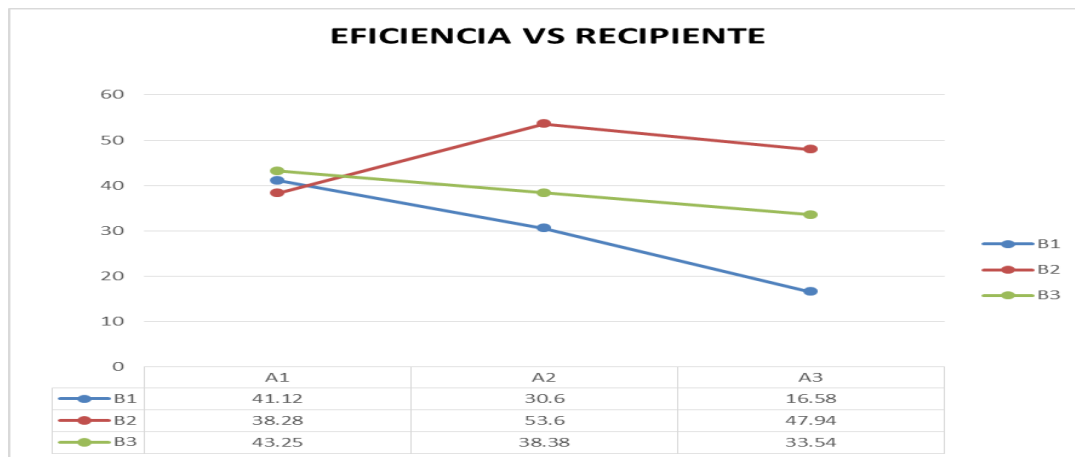


Figura 19 Grafica de interacción BA, eficiencia vs tipo de recipiente

la Figura 19 se realiza la interacción de los factores BA, donde se ubica en el eje horizontal el tipo de recipiente A1, A2 y A3; y en el vertical la eficiencia, cuando se emplea el recipiente calderero (A1) para cada una de las tres potencias sus eficiencias no varían mucho entre sí, al emplear la chocolatera (A2) en los tres nivel de potencia, podemos observar que cuando se utiliza el nivel de potencia medio (B2), encontramos el punto donde se presenta la mayor eficiencia en el proceso de cocción con un 53%, en los otros dos recipientes la eficiencia decrece, para el calderero eficiente (A3) en los tres niveles de potencia la eficiencia decae obteniendo que la peor eficiencia se presenta en la combinación calderero eficiente con nivel de potencia bajo (A3, B1) con un 33% .

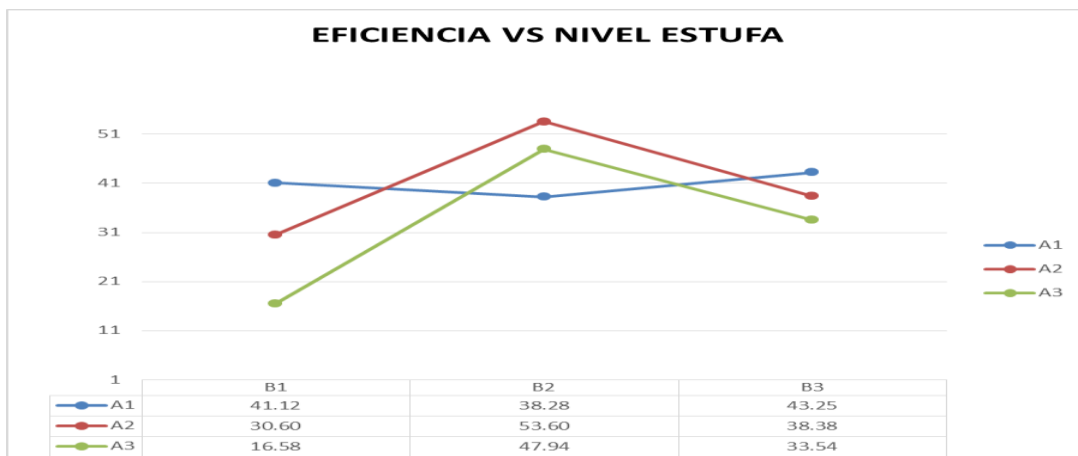


Figura 20 Grafica de interacción AB, eficiencia vs tipo de recipiente

En la Figura 20 encontramos la interacción AB, donde en el eje horizontal encontramos el nivel de potencia de la estufa B1, B2 y B3, y en el vertical la eficiencia, para la potencia baja (B1) se observa que en los tres recipientes la diferencia de eficiencia entre ellos es muy notable teniendo la máxima en un 41% y la mínima en un 16%, como en la gráfica 19 el nivel de potencia medio (B2) con la chocolatera (A2) presenta la mejor eficiencia en el proceso con un 53%, en este mismo nivel (B2) se presenta un aumento de eficiencia en el calderero eficiente (A3) y una ligera disminución en el calderero (A1), y para el nivel de potencia alto (B3) en los recipientes calderero (A1) y chocolatera (A2) dicha eficiencia disminuye, y para el calderero (A3) tiene un aumento.

4. CONCLUSIONES

Se empleó un diseño factorial 3^2 con el fin de determinar si los factores tipo de recipiente y nivel de potencia de la estufa eléctrica tienen el mismo efecto en el proceso de cocción.

Al realizar el análisis de varianza ANOVA se pudo demostrar que los dos factores no tienen la misma influencia en el proceso y se logró determinar que el nivel de potencia de la estufa es el que más incide en los resultados.

Al emplear el nivel de potencia medio en las pruebas, se obtuvieron las mejores eficiencias, variando según el tipo de recipiente empleado; y al utilizar el nivel de potencia bajo se presentan los peores resultados.

Se puede concluir entonces que la mejor forma para realizar el proceso de cocción es utilizando la olla chocolatera con nivel de potencia media, presenta una eficiencia en la cocción de un 53%, mientras que la manera más ineficiente es empleando el calderero eficiente con nivel de potencia bajo ya que presenta una eficiencia del 16% con unas pérdidas superiores al 84%.

Es muy importante tener presente las dimensiones y materiales con que están diseñados los recipientes, debido a que estas variables pueden definir qué tanta energía es aprovechada en el proceso.

Comparando los resultados de este trabajo con los estudios que se han hecho en cuanto a la cocción a nivel residencial, se pueden resaltar dos cosas: la primera es que la estufa eléctrica posee una eficiencia baja en comparación con los otros tipos de estufas que existen, y la segunda, es que es importante tener en cuenta las características físicas de los recipientes, ya que estas pueden afectar la eficiencia del proceso.

5. ANEXOS

Se anexan las tablas donde se registran las diferentes variables eléctricas, esto con el fin de verificar los datos arrojados por el medidor de consumo eléctrico.

combinacion		Tension(V)		
		Repeticion		
		1	2	3
A1	B1	124	126	126,2
A1	B2	125	126,3	123,3
A1	B3	124,1	125	125
A2	B1	124,1	124	125,7
A2	B2	125,5	126	127
A2	B3	125	126	124
A3	B1	125	126	124,7
A3	B2	125	125	123,5
A3	B3	125	124,7	122,4

Tabla 21 Datos obtenidos por el Multímetro (RADIOHACK)

combinacion		Corriente(A)		
		Repeticion		
		1	2	3
A1	B1	2,20	2,27	2,3
A1	B2	5,2	5,2	5,12
A1	B3	9,01	9,07	9,19
A2	B1	2,2	2,25	2,27
A2	B2	5,2	5,2	5,23
A2	B3	9,2	9,25	9,03
A3	B1	2,25	2,25	2,22
A3	B2	5,1	5,2	5,1
A3	B3	9,07	9,11	8,9

Tabla 22 Datos obtenidos por la pinza amperimétrica

combinacion		Potencia en Watt(V*I)		
		Repeticion		
		1	2	3
A1	B1	272,8	286,02	290,26
A1	B2	650	656,8	631,296
A1	B3	1118,14	1133,75	1148,75
A2	B1	273,02	279	285,339
A2	B2	652,6	655,2	664,21
A2	B3	1150	1165,5	1119,72
A3	B1	281,25	283,5	276,834
A3	B2	637,5	650	629,85
A3	B3	1133,75	1136,017	1089,36

Tabla 23 Energía empleada para cada combinación

Para obtener los valores de la Tabla 23 es necesario emplear la ecuación 3 multiplicando los valores de la Tabla 21 y Tabla 22; al comparar la Tabla 23 con la Tabla 11, podemos notar que la variación entre los valores de la potencia para cada combinación es muy pequeña, dándonos a entender que los datos arrojados por el medidor de consumo eléctrico pueden ser confiables.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. **(MME), Ministerio de Minas y Energía.** *plan de acción indicativo energética 2017-2022.* 2016.
2. *Estudio de generación Eléctrica bajo escenario de cambio .* **Ana María Macías, Jaime Andrade.** s.l. : Unidad de planeación Minera Energética (UPME).
3. *Estudio sobre la influencia de la potencia calorífica del quemador y el tipo de recipiente en la eficiencia de cocción a nivel residencial.* **Yamid Alberto Carranza Sánchez, Andrés Felipe villa panesso.** s.l. : Scientia et Technica, Agosto de 2012.
4. *Heat transfer characteristics and cooking efficiency of different sauce pans on various cooktops.* **C. Karunanithy, K. Shafer.** s.l. : Applied Thermal Engineering, 2015.
5. *The Utilization of Heat from Electric Surface Units by Certain Cooking Utensils .* **Louisej. Peet, Lucille o. MacDonald.** s.l. : Agricultural Experiment Station IOWA State College of Agriculture and Mechanic Arts, Abril 1937 .
6. *Ciencia y Tecnología Culinaria.* **Bello, Prof.Dr.José.** Madrid España : Días de santos.
7. *Fundamentos de Termodinámica Técnica.* **Sánchez, Yamid Alberto Carranza.** Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira, 2011.
8. Resistencias tipo cartucho vs resistencias tubulares. [En línea]
<http://www.resistenciastope.com..>
9. *Instalación de electrodomésticos de potencia .* **Amaya, Cecilia Molina.** s.l. : servicio nacional de aprendizaje (sena).
10. *Análisis y diseño de experimentos.* **Humberto Gutiérrez pulido, Román de la Vara Salazar.** s.l. : Segunda Edición.